

Моделирование движения высококонцентрированной среды в канале при обтекании препятствия

Жуков Иван Владимирович

Томский государственный университет

Шваб Александр Вениаминович

ghoulghost@inbox.ru

Известно, что реологические свойства высококонцентрированной гранулированной среды, при использовании условия скольжения среды на стенке, близки со свойствами ньютоновской жидкости, что, в свою очередь, позволяет использовать уравнения Навье–Стокса для течения высококонцентрированной гранулированной среды в вертикальных каналах. Математическая модель гидродинамики плотного слоя основывается на уравнениях вязкой жидкости с постоянным коэффициентом эффективной вязкости и с использованием условий частичного скольжения среды на твердой поверхности. В такой постановке математическая модель позволяет получить адекватные опытным данным распределение поля вектора скорости. В работе также представлено влияние режимных и геометрических параметров на закономерности динамики высококонцентрированной гранулированной среды.

Рассматривается течение зернистой среды в плоском канале при обтекании препятствия, имеющего квадратную форму (рис. 1).

Гранулированная среда поступает в канал сверху и, под действием силы тяжести, обтекает препятствие и покидает камеру. Уравнения переноса импульса и неразрывности в безразмерном виде описываются системой:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U_x}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2} \right); \\ \frac{\partial U_y}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2} \right); \\ \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} &= 0\end{aligned}\quad (1)$$

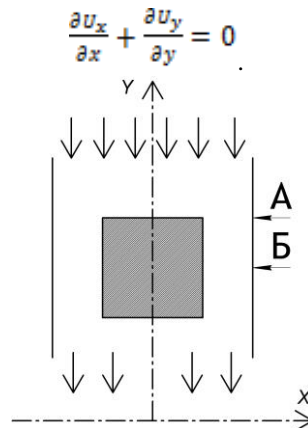


рис. 1. Плоский канал с препятствием, имеющим квадратную форму

Для достоверности численного решения поставленная задача также решалась в переменных «вихрь-функция тока», которая имеет вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \psi}{\partial \tau} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} &= -\Omega; \\ \frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U_x \frac{\partial \Omega}{\partial x} + U_y \frac{\partial \Omega}{\partial y} &= \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial y^2} \right).\end{aligned}\quad (2)$$

На стенке использовались условия частичного скольжения зернистой среды, которая в физических переменных и в переменных функция тока – вихрь имеет соответственно вид:

$$-\left(\frac{\partial U_x}{\partial n}\right)_w = \beta(U_x)_w; \quad \Omega_w = \frac{2(\psi_w + \frac{1}{2}\psi_w)}{r_w \Delta r^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\beta \Delta r} + \frac{1}{\beta r_w}\right)}; \quad U_s = U_w = \frac{\Omega_w}{\beta} \quad (3)$$

Решение системы уравнений в переменных скорость – давление проводилось методом расщепления полей скорости и давления на разнесенной разностной сетке. Конвективные и диффузионные слагаемые расписывались с помощью экспоненциальной схемы. Системы уравнений (1) и (2) приводились к системе

нестационарных уравнений переноса в дельта-форме, каждое из которых решалось с помощью неявной обобщенной схемы переменных направлений.

Достоверность математической модели проверялась сравнением численного решения задачи о движении высококонцентрированной гранулированной среды в плоском канале при обтекании препятствия с экспериментальными данными [1], которое представлено на (рис.2) (сечение А, рис.1) и (рис.3) (сечение Б, рис.1). Расчеты были проведены при параметрах $\beta = 0.5$, $Re = 0.125$

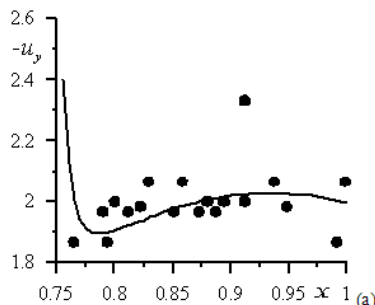


рис.2. Сравнение численного решения с экспериментальными данными в сечении А

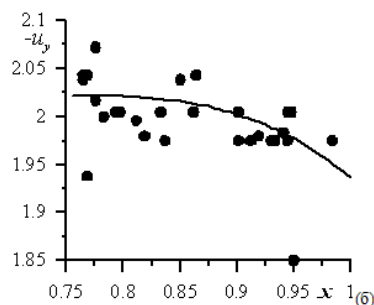


рис.3. Сравнение численного решения с экспериментальными данными в сечении Б

Предложенная математическая модель для расчета движения высококонцентрированной гранулированной среды показало хорошее соответствие с опытными данными. Таким образом, такой подход позволяет применять разработанную модель для расчета процессов смешения, дозирования, усреднения и перемещения зернистых сред в плотном слое.

Список публикаций:

[1] Nedderman R., S. Davies and D. // Powder Technology. 1980. Vol. 25. №2. P.215-223.

Влияние повышенных начальных температур на параметры выстрела

Зыкова Анжелика Игоревна

Касимов Владимир Зинатович, Дьячковский Алексей Сергеевич, Саморокова Нина Михайловна

Томский государственный университет

Ищенко Александр Николаевич, д.ф.-м.н.

Arven2022@mail.ru

Одним из важнейших параметров для артиллерийских систем является дульная скорость снаряда. Одним из способов ее повышения является нетрадиционная схема выстрела с использованием помимо порохового заряда в камере сгорания так же дополнительного присоединенного заряда (ПЗ). ПЗ – это перспективное высокоэнергетическое топливо нового образца, которое располагается сразу же за снарядом и горит с одного конца, выталкивая снаряд перед собой и обеспечивая дополнительное ускорение. Оптимальный результат без повышения давления в камере при использовании ПЗ получается в том случае, когда воспламенение ПЗ происходит после достижения максимума давления. Это особенно сложно достигается при повышенных температурах, потому что повышенные температуры приводят к более быстрому воспламенению ПЗ, нежели при низких температурах. Наиболее практичным механизмом обеспечения задержки является конструкция с химическим замедлителем. При расчетах использовались математическая модель [1], а так же программный комплекс [2], разработанные в НИИ ПММ ТГУ, где присутствие химического замедлителя моделируется импульсом задержки воспламенения (топливо воспламеняется при достижении импульсом давления на фронте горения значения I_1).

Целью данной работы было проведение параметрических расчетов для определения импульсов задержки воспламенения, оптимальных для начальных температур $+ 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+ 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Под оптимальными импульсами задержки будут пониматься такие значения этого параметра, которые позволяют топливу своевременно догореть, пока снаряд не покинул канал ствола и позволит ему развить наиболее высокую дульную скорость, которую возможно получить при заданных условиях заряжания. В лабораторных экспериментах использовался инертный модельный снаряд фиксированной массы, зерненный пороховой заряд, ПЗ из перспективного топлива в полиэтиленовом контейнере. В экспериментах измерялись давление в камере установки, скорость снаряда при движении по стволу и в момент вылета. Параметрические расчеты проводились для условий данной модельной установки, для данного снаряда и типа порохового и присоединенного заряда.